国家“十五”重点图书
“探索科学的艺术——科学方法论”丛书

走进实验的殿堂
——实验方法谈

丛书主编　路　宁　刘跃进
刘晓君　著

上海交通大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内容提要

本书介绍了实验和实验方法在科学研究中的地位与作用，通过大量的史实和数据，令人信服地阐述了实验方法的起源与发展、实验方法在各学科的应用以及实验所涉及的伦理等方面的问题。

本书语言生动，事例充实，有较强的可读性。

前　言

科学方法是科学的灵魂，是科学家与科学对象之间的桥梁和通道。从一定意义上说，一部科学史就是一部科学方法不断丰富发展的历史，就是一部科学方法的进化史。科学革命从本质上说就是科学方法的革命。高明的导师在指导博士研究生时，总强调传授方法过于告诉结论就说明了这个道理。科学方法是科学的重要基础和组成部分，是科学活动得以开展的必要条件，是科学水平发展的标志。“工欲善其事，必先利其器”。了解和掌握科学方法对于了解和掌握科学具有十分重要的意义，对推动科学与社会的发展也具有重要的意义。因此，自科学产生以来，人们总是花极大的力量来关注和研究科学方法，于是形成了一门专门研究科学方法的学问，这就是科学方法论。为了向广大读者介绍科学方法，了解直至树立科学的方法和理念，正确把握科学与非科学及反科学的界限，坚持正确的科学观和科学方法论，我们编写了这套《科学方法论》丛书，将正书名起为《探索科学的艺术》是希望强调方法在获得正确结论中的独特的作用。

科学是什么？

这好像是一个不成问题的问题。其实不然，它是一个争论得非常激烈的问题，直到现在争论仍在进行，人们从各自的角度在不同层面上理解科学这个概念。一般可以从三个层面对科学进行描述：科学是系统化的知识；科学是一种社会活动；科学是一种社会建制。第一种描述是从科学的内部进行刻画的，后两种则是从科学的社会价值的角度进行刻画的。但是，作为一个科学工作者，我们似乎应当从综合的高度、尽可能从较全面的方位来处理这个问题。这样做应当是可能的。从这样的理念出发，科学是不是可以做这样的表述：科学是人类运用科学工

具作用于科学对象的过程及作用结果的统一。因而科学是一个历史范畴。

科学方法是什么？

这里讲的科学方法不是指科学的方法，而是指科学研究的方法，是人们为达到一定的科学目的所选取的手段、途径或活动方式和规范。科学方法是人们在科学研究中所遵循的途径和所运用的各种方法和手段的总称。从科学方法论讲科学方法通常指各个科学部门中较为通用的一般的科学研究方法，是人们揭示客观世界奥秘、获得新知识、探索真理的工具。从这个意义上讲，科学方法必然是科学的方法，它具有程序化的特点和自觉能动性的特点。科学方法是正确反映客体的通道，科学方法为科学的发展定向开路，为成功的取得作铺垫。科学方法使科学认识程序化、规范化和最优化，在纷繁复杂的科学研究中，科学方法可以提供一条正确的路径和思维定式。

采用合适的科学方法开展研究就会获得较高的成功率。一般来说，科学方法、技术方法的创新，往往可能促成科学技术的重大发现和发明。一些科学家、发明家能够取得重大成就，是和他们在方法上锐意进取密切相关的。从历史上来看，科学是随着研究方法所获得的成就而前进的。因此传播和普及科学方法，加强对公众科学研究、技术开发能力的培养，是提高公众的科技素质、造就一代新人的需要。

科学方法是怎样分类的？

科学方法是具有一定结构的一个体系，按照不同的标准可以做不同的分类。这些标准之间也可能有交叉。哲学方法是层次最高、应用最普遍的方法，能够运用于以自然界、社会和思维为研究对象的所有科学部门。往下是一批基本的通用的科学方法，如逻辑方法、数学方法、系统方法、实验方法等。再往下是各个具体科学领域的科学方法，如生物学的方法、地学的方法等。科学方法还可以按照适用范围的大小，区

分为一般科学方法和特殊科学方法。一般讲来，越是科学研究的低层，要掌握的科学方法越是特殊；而越是科学研究的上层，要掌握的科学方法越一般。这是因为具体的工作对象明确，可变性小，于是更需要技巧，而上层工作面宽，需要全局性的、路线性的指导，于是更多的是涉及原则问题。

按照认识层次可有经验性科学方法、理论性科学方法等。经验性科学方法是获取经验材料或科学事实的一般方法，如观察方法、调查方法、测量方法等。理论性科学方法，包括分析、综合、归纳、演绎、类比等逻辑方法以及假设方法、思想实验、理想化方法等。横向学科方法指的是由数学、一般系统论、信息论等横向学科抽取出来的一般方法，如系统性方法、黑箱方法、反馈方法、信息方法等。特殊科学方法是个别科学领域或学科所运用的各种特殊方法，如物理中的光谱分析法，化学中的电解法，生物中的同位素示踪法、医学中的免疫法，心理学中的精神分析法，人口学中的人口普查法等。现代科学方法是建立在实践经验和经实践检验过的科学理论的基础上的。

科学研究离不开各种思维活动，人类思维所遵循的方法也是科学方法。思维方法是人们认识世界和改造世界的精神活动形式、方式和程序的总称。人的一切活动，无论认识活动还是实践活动，都离不开思维和思维方法。思维方法的类型是与思维类型相对应的。按照思维活动所运用的信息形式，思维方法区分为抽象思维方法和意象思维方法。按照思维结构的程式化程度，思维方法区分为逻辑思维方法和直觉思维方法。按照思维过程的方向性，思维方法区分为逆向思维方法、侧向思维方法、发散思维方法、收敛思维方法等。限于本丛书的既定目标，我们没有专门介绍思维方法的计划，不过读者从丛书涉及的内容可以或多或少体会到一些思维的规律。

科学方法与非科学方法

科学方法与非科学方法之间没有不可逾越的鸿沟。科学方法是一个边缘不清晰的、但又是一个具有稳定内核的家族。之所以这样说，首

需要全本请访问 www.ertongbook.com

先是因为科学与非科学之间是没有清晰的界限。特别是 1962 年 T·库恩的《科学革命的结构》出版以来，历史主义的观点对于科学与非科学的界限的讨论提出了社会文化的标准，人们对于这个问题的理解更增加了新的内容。现在可以看出，科学与非科学的界限是相对的。在牛顿体系下的科学概念，在爱因斯坦体系下就可能会变成非科学概念；在欧几里得的几何里过直线外的一点只可以作一条直线与已知直线平行，但是在非欧几何里，结论就完全不同，有的认为可以作至少两条，有的又说一条也不存在。因此，科学方法与非科学方法之间也没有清晰的界限。例如过去认为人多好办事的观点在软件工程里却行不通，很多软件设计过程证明，增加人的参与可能延缓工程的完成。是否科学一切应当看条件，在一定条件下的科学方法，当条件发生变化时，就可能变成非科学方法，反之亦然。在科学与非科学之间有着一个广阔的融合的地带。在这里，不同领域的方法之间相互过渡、转化表现为科学方法边界的不清晰。这也是正常的和必需的。在存在非此即彼的地方要充分注意到亦此亦彼。但是，我们在这里要强调的是，作为科学，以下几点是必须具备的不变的要素或内核：理性、真理、逻辑、可重复。

科学方法的历史观

科学方法是一个历史的概念，科学方法家族是一个不断新陈代谢的生长的家族。

从宏观历史上看，科学方法是一个不断发展和生长的家族。所以，我们要充分注意从历史的角度来把握科学方法，特别要注意从科学方法的整体上来把握它。在这个过程中，有的方法得到了发展，有的方法被历史所淘汰。但是，有一个逻辑线索是不变的，存在着历史的逻辑不变性：由低向高，由简到繁，由单一到多元，由不成熟到成熟。科学方法的历史与科学的历史是同步的，随着科学的发展而发展，它是一个无限展开的系列。

任何历史的否定都是辩证的否定，对于科学方法来讲更是如此。不管是淘汰也好，发展也好，总是一种扬弃，精华被保留下来，糟粕被剔

除。在区别精华和糟粕的过程中，方法会显示出特别的重要，就像风力和风向对于打谷场上的扬场，起着关键的作用。

科学方法形成的多个途径

科学方法的形成有多种方式方法，可以由科学研究进展或已有科学成果的转化，由非科学方法的转化，由已有科学方法的发展等，但是不管怎样，它总是源于科学实践。科学方法与科学实践是紧密相连的。科学方法不是游离于科学之外的一种框架。相反，它是融于科学之中的，只是我们在研究问题的时候对其做了抽象的处理而已。科学方法的形成是一个创新的过程，同时也是一个与已有方法的交流和交锋的过程。在这个过程中，新的科学方法得以发展和成熟。此外，不同的科学方法之间还存在移植、渗透作用，在交叉中产生新的科学方法。

与实践不同的是科学方法都有一个提升过程，它是从很多的实践活动中抽象出来又在实践中得到证明是行之有效的一种规律性的东西。即使是特殊的科学方法也有其普适性。同时，即使是一般的科学方法，在具体实施时，也要根据实际情况作适当的变化。一成不变的科学方法是没有的，而这种美好的愿望本身就是不科学的。

科学方法论的发展趋势

有的学者指出，目前在西方科学哲学界，科学方法论正处于一个发展的低谷。科学方法论面临五种困境：对归纳逻辑的反对、反对方法、当代科学方法论家的自悖、元方法论的困境以及对评价规则的质疑。同时指出认清这些困境的目的在于寻求科学哲学更深层的理论变革和发展机遇。这个问题确实应当引起我们的注意。在 20 世纪 80 年代，也许是十年浩劫造成积压的喷发，我国在科学方法论方面的研究曾经出现了一个高潮，出现了以舒炜光教授为突出代表的一批学者，他们的工作极大地推动了中国科学哲学的发展，推动了中国科学方法论的发展。虽然目前在科学方法论的研究中出现了上面所说的困境和问题，

但是，这并不能说科学方法论的研究已经停顿；相反，也许这正是科学方法论获得更大发展的契机。

进一步，进入新世纪以来，我国的经济正在蓬勃发展，科教兴国已经确定为基本国策，可望在未来的几十年中，中国的经济会有较快的发展，科学技术作为第一生产力必然地会获得优先发展。巴西的足球踢得好是因为足球的普及，中国将青少年派到巴西去学足球，很大程度上是为了感受这种全民皆球的氛围。一样的道理，随着科学的优先发展，科学方法将得到普及，形成一种氛围，这必定导致科学方法更快的发展。

本丛书的立意

在有关科学方法的书籍和文章大量问世的今天，如何为广大公众献上一套通俗的、有用的科学方法论的书并不是一件容易的事。选取最重要的方法，以全新的通俗方式进行撰写，是我们一贯的想法，也是本丛书的宗旨。但真正做起来却并不容易，甚至具有相当的挑战性。

我们这套书定位在讲述科学方法的普及类读物，由以下四种方法组成：数学方法、系统科方法、逻辑方法、实验方法，相应的书名分别为《通向完美的桥梁——数学方法谈》、《遨游系统的海洋——系统方法谈》、《攀登理性的阶梯——逻辑方法谈》、《走进实验的殿堂——实验方法谈》。为什么选取这四个方法呢？这是因为：我们认为，任何科学都是一个逻辑的系统，都离不开逻辑的构架。首先世界是一体化的，任何科学必须放在与他周围共存的环境才能检验出它的正确及意义。任何一个正确科学结论都离不开实验的检验，而且实验常常会提供科学研究的课题。任何科学都离不开数学，正如马克思说过的，任何科学只有应用数学才能达到完美的地步。

古希腊的亚里士多德创立的形式逻辑奠定了逻辑学的基础，建立起三段论式逻辑推理方法，创立了相应的逻辑工具——公理化方法。欧几里得运用公设、公理，演绎出了一本《几何原本》，成为万代师表。近代以来，公理化方法被进一步地形式化，在科学的发展中发挥了重要

的作用，是公认的重要方法。

英国人罗吉尔·培根首提“实验科学”，即运用实验方法的科学。后来，达·芬奇、伽利略又进一步运用了实验方法。弗兰西斯·培根则成为“英国唯物主义和整个现代实验科学的真正始祖”，他主张把学者传统与工匠传统结合起来，把理论与实际结合起来，通过记录一切可以得到的事实，进行观察、实验，加以排列、分类、归纳，最后总结出事物的内在联系。

如果将科学分成公理科学和实验科学，那么这两种方法分别是它们的一般方法。

科学发展到现代，系统地看待和处理科学问题已经成为一种十分重要的科学方法。在大科学中，众多的要素和众多的关系只有用系统的思维和方法才能准确地把握和描述，特别在科学日益分化与综合的发展趋势下，系统性越来越具有重要的意义。

科学史表明，数学是科学研究和科学表达的重要手段。科学，特别是自然科学大多离不开数学手段，离不开数学的表达。数学能使科学变量的依存关系有一个更清晰的表述，同时丰富的数学成果为科学研究提供了大量现成的结论。当今各行各业普遍应用了数字计算机，于是数学也就无所不在，数学方法也就无所不用了。

如果将科学研究分成个体研究与整体研究两个层次，其中个体研究是探讨对象本身的属性，整体研究是考虑对象在外界作用的变化，那么数学方法和系统方法将起着不可替代的作用。

正是基于上述认识，我们在科学方法论的宝库里，重点选取了上面四个方面作介绍，这并不是说其他方法不重要，这纯粹是我们在设计本丛书时的自我选择。是一个个性化的问题，而不是一个科学逻辑的问题。也许别的学者会作其他的选择和设计，这是完全正常的。

本丛书的特点

作者认为本丛书有如下值得一提的特点。

科普定位。本书是明确定位在科学方法的普及上，用大众可以接

需要全本请访问 www.ertongbook.com

受的方式介绍最基本的科学方法及历史。

为大众读者服务的宗旨。把科学方法介绍给大众，让大众掌握科学方法，是本丛书的基本宗旨。

例证与理论结合。本丛书特别注重例证的价值，注意在大量的科学史中选取合适的例子，用以说明抽象的科学方法论的原理。

寓道理于故事之中。本丛书特别强调要用故事说话，尽可能多地写一些故事，以求雅俗共赏。

专家执笔。本丛书的作者大部分是专门从事科学哲学、科学学和实际科学研究的专家学者，他们对科学方法问题有着深刻的理解和研究，并有多部著作出版，同时还对科普有着独特而深刻的理解。

手法灵活。本丛书采取灵活的表现方式说明科学方法的原理，表现手法丰富、灵活。

读者定位。读者定位为高中以上的各类人群，因此可以有广阔的市场。

体例新颖。尽可能采取独特的表现方法和版面方式，使读者耳目一新。

我们在上海交通大学出版社的大力支持下，编撰并出版了这套《探索科学的艺术——科学方法论》丛书。囿于我们的知识与能力，不足之处，恳请读者赐教。

路　宁

2005 年 10 月

目录 CONTENTS

1. 概论——关于实验和实验方法 …… 1
2. 物理学中的实验 …… 16
3. 火、燃烧和近代实验化学 …… 49
4. 早期的医学——生理学实验 …… 58
5. 生物学中的实验 …… 70
6. 心理学中的实验 …… 79
7. 社会科学中的实验 …… 93
8. 一簇绚丽多彩的思维之花——浅谈理想实验方法 …… 103
9. 实验及其相关因素分析 …… 111
10. 防范伟大科学的冒险——实验中的伦理 …… 146
11. 对有机体的情感——性别与实验 …… 157
12. 科学事实的建构 …… 164

后记 …… 170

1. 概论——关于实验和实验方法

科学是用理论和实验这两只脚前进的。有时是这只脚先迈出一步，有时是另一只脚先迈出一步，但是前进要靠两只脚……

——R·A·密立根

在我们周围的自然环境中，存在着许多自然事物及其进程，它们以复杂的方式叠加并相互作用。例如一片掉落的叶子受到引力的吸引、空气阻力和风力的作用。当这些事件以自然的方式发生时，很多时候并不能通过对他们的仔细观察而达到对这种事物及其过程的理解。如对落叶的观察并不必然产生伽利略的落体定律。因此，为了鉴定和说明在自然界起作用的种种事物及其过程，一般需要在实践中进行干预，将研究过程分离出来，消除其他因素或过程的影响。简而言之，就是做实验。

澳大利亚的查尔默斯在其被称为“作为科学哲学的最佳导论性教科书”的《科学究竟是什么》中曾举过这样一个生动的例子以说明实验的性质。这个例子是有关一个许多人都曾司空见惯的事实。在他小的时候，他和他的哥哥曾注意到同一牧场上有牛粪地方的草比没牛粪地方的草长得更快更好。对于这一事实，他哥哥的意见是，这是牛粪的施肥效应。而他则认为是由于牛粪对其下面的土地具有保墒和抑制蒸发的作用。还有一种可能就是牛不喜欢吃牛粪周围的草，或者可能这三种效应都起作用。查尔默斯认为，单凭他们兄弟所做的简单观察不可能分辨出不同效应的程度。只有对这种自然发生的现象进行一些干预，才能考察清楚这一问题。比如说，在一个季节不在这块牧场上放牧，看看牛粪上长的草是否减少或消失，或将牛粪磨细消除它的保墒作用但仍保留它的施肥作用等，再与自然状况进行比较，以确定其原因。

这个例子说明的境况是十分典型的。我们知道，任何一个自然事物和生产过程都是非常复杂的，不仅自身表现出各种各样相互交织的现象，而且还同周围环境相互作用、相互影响。在这种状态下，单靠观察方法难于揭示各种现象之间的本质联系。但实验可以通过特制的仪器和设备，根据研究的目的，突出某些主要因素，排除其他次要的、偶然因素的干扰，使研究对象中为我们所需要的某些属性或关系在简化的、纯粹的形态下暴露出来，从而准确地认识它。在这种意义上，科学实验是一种特殊的观察。它是在人为干预控制对象的条件下进行的观察。因此，一般认为，实验方法是人们根据课题规定的目的，通过科学仪器和设备，人为地变革、控制或模拟客观对象，在有利的条件下获取科学事实的一种研究方法。

科学实验之所以重要，主要是因为它直接指向研究对象，对现象做经验的研究乃是我们获得有关外部世界一切知识的基础。实验的方式使人们能够积极干预事物和现象的进程，以便详细而精确地把握它们。科学实验是帮助人们发现新的科学事实、获得新的科学规律的重要手段，又是证实或证伪假说和检验科学理论研究成果的重要手段。系统的实验方法的产生，不仅是科学方法发展史上一次重大突破，而且也是科学发展最重要的基础，以至于人们常常把近代以来成熟的自然科学叫做实验科学。在近、现代科学史中，科学实验常常是产生科学革命的契机。自 1901 年设立诺贝尔科学奖（物理学、化学、生理学或医学）以来，该奖获得者大部分（约 60％）为从事实验性工作的科学家。这一情况很好地说明了科学实验在科学发展中的重要性。

在资本主义社会以前，虽然也有零星的、局部的实验，但真正有系统的科学实验是在 16 世纪开始的。英国近代唯物主义的始祖弗兰西斯·培根首先把实验当作认识的一种方法，并使之理论化。按照培根的观点，实验或经验的事实和数据是科学推导的基础，只有在大量的事实和数据的基础上进行枚举和归纳，才能得出贴近客观真理的结论。这种实验哲学将可靠的实验和实验数据作为治学的根本依据和出发点，一切从现象和经验出发，然后用数学分析予以处理，建立理论的或经验的表示式，再用实验予以检验。随着资本主义生产方式的发展，实

验从生产实践中分化出来，成为一项具有独立性的社会实践活动，从此，科学研究才有了最重要的手段，科学的发展才奠定了直接的基础。实验是近、现代科学最伟大的传统。离开实验传统，科学之树就丧失了成长壮大的肥沃土壤。当然，我们也重视理论思维，反对狭隘的经验主义。

伴随着生产的发展和科学技术的进步，科学实验的深度、广度以及手段、规模发生了深刻的变化。从培根设计定性实验到伽利略从事定量实验，说明科学家们已经把学者传统同工匠传统结合起来，在进行理论概括的同时，亲自动手做实验。但最初实验的规模，在 17 世纪和 18 世纪还比较小。19 世纪初，当时最卓越的化学家柏齐里乌斯的实验室就是他的厨房。在那里，化学和烹调一起进行。1817 年，英国格拉斯大学建立第一个供教学用的化学实验室，1824 年，李比希在德国吉森大学建立了另一个更出名的化学实验室，实验才成为科学家训练的必要组成部分。19 世纪 70 年代，英国在剑桥大学建立了卡文迪许物理实验室，爱迪生在美国芝加哥主持建立了“发明工厂”，至此，科学实验的规模有了突变。

仅以卡文迪许实验室[①]为例，1871 年以前，该室屋无一间，到 1874 年该室初建结束时，只有在剑桥市中心自由学院胡同（Free School Lane）的一座“L”形的三层带阁楼的楼房，总面积不到 900 平方米。其中有 10 间仪器陈列室，1 间实验室，1 间储藏室、1 个制作车间、1 间阶梯教室和 1 间教授办公室。今天，这种规模只能算作相当小的科研机构，但在那时连剑桥大学也建不起这样的实验室，只能由当时的剑桥大学校长 W·卡文迪许个人资助。这在当时的英国，甚至在世界上恐怕算是规模最大的实验室或科研机构了。20 世纪以来，随着两次世界大战后实验科学的大发展，实验室的规模也发生了相当大的变化。1968 年至 1974 年在剑桥西郊兴建了连体的三座大楼，总面积 16 000 平方

① 创办于 1871 年，是英国大学中建立的第一个教学与研究的正式的物理实验室，是世界上非常著名的一个科研机构，在剑桥大学拥有的 56 个诺贝尔科学奖中，该室就占了 25 个获奖者。

米,即使是最小的布拉格大楼也有 5 650 平方米。这样大的大学科研究机构建筑在当时是少有的,预计可容纳 1 500 人同时工作。但是到了 1990 年它又显得不够大了,不但射电天文学的设施无法容下,就是超导中心也只有移到附近的新处所了,而微电子研究中心在剑桥科学园几年后必须迁回,于是该室只能与日本的日立公司各出资 25 万英镑,在该室新楼的东侧扩建微电子科技楼。现在,不但分子生物学组在 1962 年从该室独立出来,另建 MRC 分子生物实验室,而且射电天文学和天体物理研究也容纳不下,只能分离到爱丁堡。20 世纪伴随着科学实验进一步社会化,科学实验已由小集团发展到国家、甚至国际的规模。例如,西欧的核子研究中心实验室,它聚集了欧洲 12 个国家的人力和资金。

今天的科学实验,已经成为千百万人参加的认识自然、改造自然的主要的社会实践活动形式之一。没有实验,就没有现代科学技术,更谈不上科学认识和科学发展。实验不仅塑造了近代自然科学,而且也为现代科学的发展奠定了坚实的基础,甚至成为科学的一种至关重要的认识论和方法论上的特点,成为科学的一种标志性特征。

1.1 实验的特点

1) 实验可以简化、纯化以强化观察对象

在实验室条件下,通过严格的控制,排除各种偶然的、次要的因素和外界的干扰,得到在自然条件下遇不到的现象和条件,从而使我们能够通过实验认识在简单条件下不可能认识到的各种现象的特性和规律性。1956 年,两位美籍华人物理学家杨振宁和李政道根据理论上的考虑,提出弱相互作用下宇称不守恒假说。为了检验李、杨假说,另一位美籍华人物理学家吴健雄做了一个直接的实验,以便确定中子的旋转方向与电子的发射方向之间是否存在着相关关系。实验的关键是把 β 衰变的放射性物质钴-60 冷却到极低的温度。吴健雄把钴-60 冷却到 0.01K,使钴核的热运动停止下来而不发生干扰,使钴原子核 β 衰变中

上下不对称的现象显示出来，从而证实了弱相互作用下宇称不守恒的假设。

通过人工控制和人为地创造条件，就有可能通过实验来加速或延缓自然现象的进程，使人们能够在较短时间内观察到自然界中往往需要几年、几十年甚至千百万年才能完成的某些变化的全过程；或者通过延缓某一转瞬即逝的自然现象的发展进程或节律，而使人们能够对它们进行仔细的观察和研究。

在科学研究当中，为了揭示有些事物的变化规律或本质，要在特殊条件下寻找非常态下的属性与特征，以发现在常温常压下材料所没有的性质。如静态气压高达二百万至三百万大气压、动态气压高达一千万大气压的超高压，接近绝对零度的超低温，气压仅有几十亿分之一大气压的超高真空，以及能量高达几千亿电子伏特的高能加速器等等。通过这些条件，在实验室中取得了在自然过程和生产过程中难以获得的重大发现。1911 年荷兰物理学家卡曼林-昂尼斯首先发现汞在超低温 4.173K 以下时失去电阻，并把这种初次发现的新性质称为“超导性”，从而开创了超导这一重要的研究领域。

科学实验可以形成自然界中无法直接控制和在生产过程中难以实现的特殊条件，例如，千百年来，在自然状态下，人类关于物质状态的认识只局限在固态、液态、气态这三种形态上。但是在超高温条件下，核外电子的能量增大到一定程度，电子便脱离其绕核运行的轨道，变成自然电子，原子核变成离子状态，于是物质处于由离子、电子及未经电离的中性粒子组成的等离子态。在超高压作用下，不但分子、原子间的自由空间被压缩变小了，而且当超高压达到一定程度时，电子壳层也发生巨大变化，甚至把电子压进到原子核里去，物质就变成了超固态。显然，上述成就把过去关于物质只有三态变化的认识大大推进了一步。这些成就的取得，都应归功于实验是在纯粹的形态下进行的。

2）实验具有可重复性

确立一项科学发现，有一个基本要求，这就是实验行为应是可重复的，实验的结果可以再现。简言之，实验的行为和功能在严格规定并加

以控制的条件下，决不会因人、因时、因地而异。任何一个实验事实，至少也应该被另一位研究者重复实现，否则就不能确立。英国化学家普利斯特利 1774 年 8 月 1 日做了一个分解“水银灰”（汞的氧化物）的实验，他把透镜聚集的阳光投射到“水银灰”上，分解出了一种气体，比空气的助燃性能强许多倍。他把这种气体称作“脱燃素空气”。同年，普利斯特利去法国旅行，把这个发现告诉了法国化学家拉瓦锡。尽管拉瓦锡不相信燃素说，但还是动手重复了这个实验。通过分解氧化汞果然得到了普利斯特利所描述的助燃性能很强的气体，发现了氧气，创立了氧化说。这里，普利斯特利所做的实验能够被拉瓦锡在不同的地点所重复。

可重复性特点的意义，首先是体现实验过程在本质上是客观的物质过程。作为实践活动，它虽然离不开理性的指导，但却可以排除任何主观观察随意性的支配。为此，它常常显得十分严厉而残酷。例如，美国物理学家韦伯企图证实引力波的存在。从 1957 年开始，他设计和安装了一种可能接受引力波信号的探测天线，进行了十多年的观测。1969 年，韦伯宣称，他的实验装置接收到了银河系中心的引力波信号，直接验证了爱因斯坦关于引力波的预言。这项发现曾经轰动一时，随后许多国家都成立了探测引力波的实验小组，但所有这些小组都没有收到任何引力波信号。韦伯的实验在世界上十几个实验室里都未能被重复，所以韦伯的发现至今没有得到世界的承认。

可重复性特点在行为和功能方面，对实验的客观性和现实可能性做出了保证。这也是实验研究的基本要求和重要优点。自然条件下发生的现象，往往一去不复返，由于许多自然过程无法或难以重复，这就给观察研究带来一定的局限性。但在实验室中，科学家们可以通过各种实验手段，使观察对象在任何时间任意多次地重复出现，因而便于人们进行深入地观测和比较，并对以往的实验结果加以核对。

3）实验的相对独立性

关于这一问题，我们可以用科学史上的一个事实来说明。1820 年夏初，奥斯特发现带电线圈的磁效应以某种方式绕电线周转，法拉第着

需要全本请访问 www.ertongbook.com